

IAP5 Rec'd PCT/PTO 27 SEP 2006
明細書

波長可変レーザ

技術分野

- [0001] 本発明は、例えばWDM(Wavelength Division Multiplexing)伝送システム等に用いられる、波長可変レーザに関する。

背景技術

- [0002] ブロードバンド時代を迎え、光ファイバの効率的な活用に向け、一台で複数の光波長の通信が可能なWDM伝送システムの導入が進んでいる。最近では、数十の光波長を多重化し、より高速な伝送を可能にするDWDM装置(高密度波長分割多重装置)の活用も拡がっている。これに伴い、各WDM伝送システムには光波長毎に対応した光源が必要となり、高多重化に伴い、その必要数は飛躍的に増加している。更に最近では、任意波長を各ノードでAdd/DropするROADM(Reconfigurable optical add/drop multiplexers)が、商用化を目指して検討されつつある。このROADMシステムを導入すれば、波長多重による伝送容量の拡大に加え、波長を変えることによる光路切り換えが可能となるので、光ネットワークの自由度が飛躍的に高まる。

- [0003] WDM伝送システム用の光源としては、これまで単一軸モード発振するDFB-LD(Distributed feedback laser diode:分布帰還型半導体レーザ)がその使いやすさ及び信頼性の高さから広く使われてきた。DFB-LDは、共振器全域に深さ30nm程度の回折格子が形成されており、回折格子周期と等価屈折率の2倍との積に対応した波長で安定した単一軸モード発振が得られる。しかし、DFB-LDでは、発振波長の広範囲に渡るチューニングが不可能であるので、ITUグリッド毎に波長のみが異なった製品を用いて、WDM伝送システムを構成している。このため、波長毎に異なった製品を用いる必要があるので、波長毎の製品を管理するコストが上昇したり、故障対応のための余剰な在庫が必要になったりしていた。更に、波長により光路を切り換えるROADMでは、通常のDFB-LDを使用してしまうと、温度変化で変えられる3nm程度に波長範囲の可変幅が制限されてしまう。したがって、波長資源を積極的に使用するROADMの特長を活かした光ネットワークの構成が困難となってしまう。

- [0004] これら現状のDFB-LDのもつ課題を克服し、広い波長範囲で単一軸モード発振を実現すべく、波長可変レーザの研究が精力的に行われている。以下、下記非特許文献1に詳述されている中から幾つかを例示することにより、従来の波長可変レーザについて説明する。
- [0005] 波長可変レーザは、レーザ素子内に波長可変機構を設けたタイプと、レーザ素子外に波長可変機構を設けたタイプとの、2種類に大別される。
- [0006] 前者の場合、利得を生み出す活性領域と、回折格子による反射を生み出すDBR領域とが、同一レーザ素子内に形成されたDBR-LD (Distributed Bragg reflector laser diode) が提案されている。このDBR-LDの波長可変範囲は、最高でも10nm程度である。また、利得を生み出す活性領域とこれを前方と後方で挟むDBR領域とが同一レーザ素子内に形成された、不均一回折格子を用いたDBR-LDが提案されている。前方と後方のDBR領域は、不均一回折格子によって多数の反射ピークが発生し、かつ反射ピークの間隔が前方と後方で僅かにずれている。この構造によっていわゆる「バーニア効果」が得られるので、極めて広い波長可変が可能となる。この不均一回折格子を用いたDBR-LDでは、100nmを越える波長可変動作及び40nmの準連続波長可変動作が実現されている。
- [0007] 後者の場合、レーザ素子外に設けた回折格子を回転させて特定の波長の光をレーザ素子に戻す波長可変レーザが提案されている。
- [0008] 非特許文献1: 小林功郎著、「光集積デバイス」、初版2刷、共立出版株式会社、2000年12月、p. 104-122
- ### 発明の開示
- #### 発明が解決しようとする課題
- [0009] しかしながら、従来の波長可変レーザにおいては、これまで多くの構造が提案されているものの、モードホッピングの発生、複雑な波長制御方法、弱い振動耐性、素子増大による高価格化等の欠点があるため、実用化が困難な状況が続いている。
- [0010] DBR-LDでは、DBR領域にキャリア注入を行うことにより、この部分での屈折率を変化させて、波長可変動作を実現している。このため、電流注入により結晶欠陥が増殖すると、電流注入に対する屈折率変化の割合が著しく変動するので、長期に渡り

一定波長でのレーザ発振を維持することが難しい。更に、現状の化合物半導体のプロセス技術では、2インチ以上のインチアップは不可能である。そのため、複雑化してサイズの大きくなったレーザ素子では、現状以上の価格低減が難しい。

- [0011] またレーザ素子外に波長可変機構を設けた構成では、振動によってモードジャンプが容易に発生することから、これを避けるための大がかりな耐震機構が必要となる。そのため、モジュールサイズの大型化及び価格の上昇を招いてしまう。
- [0012] 本発明の目的は、実用化に際して問題となっていた従来の波長可変レーザの課題を克服し、高信頼性、高性能かつ低価格な波長可変レーザを提供することにある。
課題を解決するための手段
- [0013] 前記目的を達成するため、本発明に係る波長可変レーザは、互いに異なる光路長を有するリング状導波路からなる複数のリング共振器を光学的結合手段により連結した多重リング共振器と、前記複数のリング共振器の一つに光学的結合手段により一端が接続されたLD側導波路と、前記複数のリング共振器の他の一つに光学的結合手段により一端が接続された反射側導波路と、前記リング共振器、前記LD側導波路及び前記反射側導波路が形成された一つの基板と、前記反射側導波路の他端に設けられた反射膜と、対向する二つの発光端面の一方に低反射膜が形成され、当該低反射膜を介して前記LD側導波路に光結合されたレーザダイオードチップ(Laser Diode Chip;以下、LDチップという)と、前記多重リング共振器の共振波長を変化させる波長可変手段とを有することを特徴とするものである。なお、光学的結合手段としては、方向性結合器と用いてもよい。また光学手段としては、レンズを用いてもよい。
- [0014] LDチップから出射された光は、低反射膜→LD側導波路→多重リング共振器→反射側導波路→反射膜→反射側導波路→多重リング共振器→LD側導波路→低反射膜、という経路を通って戻ってくる。この戻り光の波長は、多重リング共振器の共振波長である。その理由は、多重リング共振器を構成する各リング共振器はFSR(Free Spectral Range)が僅かに異なっているため、各リング共振器で発生している反射(透過)の周期的な変化が一致した波長(共振波長)において更に大きな反射が発生するからである。そして、周期の一致する波長は各リング共振器の円周長と導波路屈折

率変化により大きく変わるために、効率の良い波長可変動作が得られる。この導波路屈折率は熱光学効果によって変えることができる。熱光学効果とは、熱によって材料の屈折率が増加する現象であり、通常どのような材料も持っている。すなわち、複数のリング共振器の温度特性を利用して、多重リング共振器の共振波長を変化させることができある。波長可変手段は、リング共振器を加熱するものでも冷却するものでもよい。このように、本発明では、円周の僅かに異なるリング共振器を複数直列に接続して多重リング共振器を構成し、これにより発生するバーニア効果を巧みに利用している。

- [0015] 前記多重リング共振器は、少なくとも2以上の前記リング共振器を含んでいる。多重リング共振器を2つのリング共振器により構成すると、最も単純な構成となるとともに、二つのリング共振器の温度を制御することにより、二重リング共振器における共振波長を容易に変えることができる。なお、多重リング共振器は、リング共振器の数がN個ならば、N個のリング共振器の共振波長の全てが一致した波長で共振する。すなわち、N個のリング共振器の温度を制御することから、Nが増えるほど、多重リング共振器の共振波長を変える方法が増える。
- [0016] 前記レーザダイオードチップの低反射膜と前記前記LD側導波路とを突き合わせて光結合する、或いは前記レーザダイオードチップの低反射膜と前記前記LD側導波路とを光学手段により光結合してもよいものである。このように、前記レーザダイオードチップの低反射膜と前記前記LD側導波路とを光結合する構成を、状況に応じて選択することができる。
- [0017] 前記複数のリング共振器は、周期的に現れる反射ピークの間隔が異なるように前記リング状導波路の直径が設定され、反射ピークの一一致点で共振を引き起こす構成となっている。波長可変手段は、前記リング共振器のリング状導波路の屈折率を変化させて、共振波長を変化させる。具体的に前記波長可変手段は、前記リング状導波路の温度特性を利用して前記リング状導波路の屈折率を変化させる。
- [0018] したがって、固定波長のDFB-LDでは得られない広い波長範囲での波長可変動作を、これまでの外部鏡を用いない簡便な構成により実現できる。しかも、通常の外部鏡型の波長可変レーザとは異なり、可動部が存在しないので、高信頼性に加え高

い振動衝撃特性を実現できる。これに加えて、波長チューニングは、リング状導波路の温度特性を利用してリング状導波路の屈折率を変化させるため、半導体導波路に電流を注入する方式に比較して、特性の経年変化が極めて小さい。

- [0019] 前記多重リング共振器の共振波長を検出する波長検出手段を更に備えている。前記波長検出手段は、一定範囲の波長のみの光を通過させて、前記波長を検出するようにしてもよい。この波長検出手段によって、多重リング共振器の共振波長を知ることができる。
- [0020] 前記多重リング共振器と前記レーザダイオードチップとの間の前記LD側導波路中、前記多重リング共振器と前記高反射膜との間の前記反射側導波路中又はリング共振器間のうち少なくとの1箇所に、一定範囲の波長の光のみを通過させるフィルタを挿入してもよい。前記LD側導波路の一端の延長された端面又は前記反射側導波路の一端の延長された端面に受光素子を設けてもよい。この場合、一定範囲の波長の光のみがフィルタを通過して受光素子で検出されるようにしてもよい。この受光素子により、LDチップから出射されるレーザ光の強度をモニタすることができる。またフィルタにより一定範囲の波長のレーザ光を通過させることができる。
- [0021] 前記波長検出手段で検出された共振波長情報に基づいて前記多重リング共振器の共振をフィードバック制御する制御手段を備えた構成としてもよい。これにより、共振波長が一定になるように、フィードバック制御を実行できる。
- [0022] 前記LD側導波路の一端の延長された端面又は前記反射側導波路の一端の延長された端面から出射される迷光による影響を抑制する迷光抑制部を設けてもよい。これにより、迷光による影響を抑制することができる。
- [0023] 前記レーザダイオードチップを、前記基板上にパッシブアライメント技術によって実装してもよい。前記受光素子を、前記基板上にパッシブアライメント技術によって実装してもよい。本工法を用いれば、光出力をモニタすることなく位置合わせマークだけを用いて、各チップを実装することにより、製造工程を簡易化できる。

発明の効果

- [0024] 本発明に係る波長可変レーザによれば、多重リング共振器を形成した基板にLDチップを実装し、多重リング共振器の温度によって共振波長を変化させることにより、極

めて広い範囲の波長のレーザ光を得ることができる。また、半導体レーザへの電流注入や機械的な可動部材を用いていないので、高信頼性が高い。しかも、基板にLDチップを実装しただけの構成であるから、製造が容易であり、安価である。

[0025] さらに、本発明のレーザ構造を用いることにより、通常のDFB-LDでは得られない広い波長範囲での波長可変動作を、これまでの外部鏡を用いない簡便な構成により実現できる。しかも、通常の外部鏡型の波長可変レーザとは異なり、可動部が存在しないので、高信頼性に加え高い振動衝撃特性を実現できる。これに加えて、波長チューニングは、リング共振器のリング状導波路の屈折率を変化させて行うため、半導体導波路に電流を注入する方式に比較して、特性の経年変化が極めて小さい。以上、本発明に係る波長可変レーザは、従来の波長可変レーザに比較して多くの点で優れており、更に低価格による生産が可能なことから、実用上極めて有効な構成である。

発明を実施するための最良の形態

[0026] 以下、本発明の実施形態を図に基づいて説明する。

[0027] 図1は、本発明に係る波長可変レーザの第1実施形態を示す平面図である。以下、この図面に基づき説明する。

[0028] 本実施形態の波長可変レーザ10は、互いに異なる光路長を有するリング状導波路からなるリング共振器111, 112が方向性結合器122を介して連結されてなる二重リング共振器11と、リング共振器111に方向性結合器121を介して一端131が接続されたLD側導波路13と、リング共振器112に方向性結合器123を介して一端141が接続された反射側導波路14と、リング共振器111, 112、LD側導波路13及び反射側導波路14が形成された一つのPLC基板15と、反射側導波路14の他端142に設けられた高反射膜16と、PLC基板15上に設けられるとともに、対向する二つの発光端面171, 172の一方(発光端面171)に低反射膜18が形成され、低反射膜18にLD側導波路13の他端132が突き合わされて光結合したLDチップ17と、リング共振器111, 112の温度特性を利用して二重リング共振器11の共振波長を変化させる膜状ヒータ191～194とを備えたものである。なお、上述した導波路としては、石英ガラスなどを用いることができる。

[0029] PLC基板15は、例えばシリコン基板上に、CVD、フォトリソグラフィ及びRIEなどの微細加工技術を用いて、導波路となるコア層と導波路以外のクラッド層とを形成したものである。なお、基板としては、PLC基板15以外の基板を用いてもよい。またコア層とクラッド層の材料としては、シリカ材料の他、ポリマー、光導体などの他の材料を用いてもよい。高反射膜16は、誘電体多層膜又は金などの金属膜からなり、PLC基板15の側面に成膜されている。なお、高反射膜16は、レーザ光を十分に反射する特性を有するものであれば、いずれの反射膜であってもよい。LDチップ17としては、通常のレーザダイオードチップを用いる。低反射膜18は、例えば誘電体多層膜である。膜状ヒータ191～194は、例えばプラチナやクロムなどの金属膜である。また、膜状ヒータ191～194には、図示しないが、膜状ヒータ191～194の両端に接する金膜からなる配線、これらの配線に通電する電源、この電源の出力電圧又は出力電流を制御するコントローラ等が付設されている。波長可変手段として、リング共振器111、112のリング状導波路の温度特性を利用してリング状導波路の屈折率を変化させる膜状ヒータ191～194を用いたが、これに限られるものではない。膜状ヒータ191～194に代えて、加熱・冷却により、リング共振器111、112のリング状導波路の温度特性を利用してリング状導波路の屈折率を変化させる構成としてもよい。要は、リング共振器111、112のリング状導波路の屈折率を変化させて共振波長を変化させるものであれば、いずれのものでもよい。なお、波長可変手段として、基板上に設けられた膜状ヒータを用いると、基板上に例えば金属膜を形成することにより波長可変手段を簡単に得られるので、製造が容易である。

[0030] LDチップ17は、パッシブアライメント技術によってPLC基板15上に直接実装されている。パッシブアライメント技術とは、PLC基板15面に形成されたマークパターンと、LDチップ17のマークパターンとを用いて、位置決めを行う技術である。この技術によれば、これまで光モジュール作製の際に行われていた光軸調芯を不要にできるので、モジュール作製のコスト及びリードタイムを大きく改善できる。

[0031] LDチップ17から出射された光L1は、低反射膜18→LD側導波路13→二重リング共振器11→反射側導波路14→高反射膜16→反射側導波路14→二重リング共振器11→LD側導波路13→低反射膜18という経路を通って戻り、発光端面172からレ

一ザ光L2として出射される。この戻り光L2の波長は、二重リング共振器11の共振波長である。

[0032] 図2は波長可変レーザ10の波長可変動作を示し、図2[1]はリング状導波路の直径が小さい方のリング共振器112の反射スペクトルを示すグラフ、図2[2]はリング状導波路の直径が大きい方のリング共振器111の反射スペクトルを示すグラフ、図2[3]は二重リング共振器11の反射スペクトルを示すグラフである。以下、図1及び図2に基づき、波長可変レーザ10の作用及び効果について説明する。

[0033] リング共振器111, 112は、周期的に現れる反射ピークの間隔が異なるようにリング状導波路の直径が設定され、反射ピークの一一致点で共振を引き起こすように構成されている。具体的には、図2[1][2]に示すように、リング共振器111, 112は、周期的に現われる多数の反射ピークの間隔がわずかに異なるように、その直径R1, R2が設定されている。ここで、実線で示すリング共振器112の反射ピーク間隔がリング共振器111の反射ピーク間隔よりも狭く、かつ波長 λ_1 でリング共振器111, 112の反射ピークが一致しているとする。このとき、二重リング共振器11は、図2[3]に示すように、波長 λ_1 で共振を起こす。

[0034] 膜状ヒータ191, 192のある通電量で加熱していた状態から、その通電量を減少させることにより、リング共振器111の温度を下げたとする。すると、そのリング状導波路の屈折率が減少することにより、リング共振器111の反射スペクトルが、図2[2]に破線で示すように、全体として短波長側へ僅かに移動する。その結果、波長 λ_2 でリング共振器111, 112の反射ピークが一致することにより、二重リング共振器11は、図2[3]に破線で示すように、波長 λ_2 で共振を起こす。このように、図2[2]に $\Delta\lambda$ で示す反射ピーク波長変化によって、 λ_1 から λ_2 への波長変化を起こすことができる。例えば、リング共振器111, 112で両者の反射ピークの間隔が10%ずれていると、屈折率変化による二重リング共振器11の反射ピークの動きは10倍の共振波長変化となって現われる。これを次々と繰り返すことによって、間欠的ではあるが極めて広い波長可変範囲が得られる。これは、ノギスや昔の通信機の周波数を変えるダイアルに採用されていたバーニアダイアルと同じ原理である。これに加え、膜状ヒータ193, 194の通電量を制御してもう一方のリング共振器112の反射スペクトルも移動させることに

より、極めて広い範囲で連続的に波長を変えることができる。

[0035] 図3は二重リング共振器11の反射スペクトルのグラフを示し、図3[1]はリング共振器111, 112間の位相差 $\phi = 0.44\pi$ の場合であり、図3[2]はリング共振器111, 112間の位相差 $\phi = 1.76\pi$ の場合である。以下、図1及び図3に基づき、波長可変レーザ10における波長選択機構及び波長可変機構について詳細に説明する。

[0036] まず、二重リング共振器11の光伝達関数は次式により与えられる。

[数1]

$$H(\lambda) = \frac{A}{1-B-C+D}$$

$$\text{ただし、 } A = \sqrt{\kappa_1 \kappa_2 \kappa_3}$$

$$B = \sqrt{1-\kappa_1} \sqrt{1-\kappa_2} e^{j \frac{2\pi}{\lambda} n \Delta L_1}$$

$$C = \sqrt{1-\kappa_2} \sqrt{1-\kappa_3} e^{j \frac{2\pi}{\lambda} n \Delta L_1 + j\phi}$$

$$D = \sqrt{1-\kappa_1} \sqrt{1-\kappa_3} e^{j \frac{2\pi}{\lambda} n (\Delta L_1 + \Delta L_2) + j\phi}$$

[0037] ここで、 $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$ は二重リング共振器11中に設けられた方向性結合器121, 122, 123の分岐比、 λ は波長、 n は導波路等価屈折率、 ΔL_1 はリング共振器112の円周長、 ΔL_2 はリング共振器111の円周長、 ϕ はリング共振器111, 112間の位相差をそれぞれ表す。 $\kappa_1 = \kappa_3 = 0.1296$ 、 $\kappa_2 = 0.0081$ 、 $\Delta L_1 = 2000 \mu m$ 、 $\Delta L_2 = 2040 \mu m$ とし、高反射膜16から光を折り返した場合の反射スペクトルの計算結果を図3に示す。

[0038] 図3[1]に示すように、 $\phi = 0.44\pi$ に設定すると、 $1.56 \mu m$ 付近に反射ピークが出現する。一方、図3[2]に示すように、 $\phi = 1.76\pi$ に設定すると、反射ピークは $1.53 \mu m$ 付近に出現する。したがって、ほぼ π の位相変化により、C帯全域($1.53 \mu m \sim 1.56 \mu m$)

$\mu\text{ m}$)に渡る反射ピークの移動が可能である。このように、 π の位相変化で広範囲に渡る波長可変動作を可能にしているのは、円周長、すなわち直径R1, R2が僅かに異なるリング共振器111, 112を二つ直列に接続し、これにより発生するバーニア効果を巧みに利用している点にある。これは、直列に接続されたリング共振器111, 112のFSRが僅かに異なっているため、各リング共振器111, 112で発生している反射(透過)の周期的な変化が一致した波長(共振波長)においてさらに大きな反射が発生するからである。これにより周期の一致する波長はリング共振器111, 112の円周長と導波路屈折率変化とにより大きく変わるために、効率の良い波長可変動作が期待できる。先に計算で示したように、C帯全域のチューニング動作を行う場合でもこれに必要な位相変化は π 程度である。これは、シリカ導波路の場合、80°C程度のヒータ通電による温度変化により実現可能な値である。

- [0039] 本実施形態では、ここで述べた二重リング共振器11の反射特性をLDの波長選択機構として用いて、波長可変動作を実現する。具体的には、リング共振器111, 112を構成するリング状導波路直上に付けられた膜状ヒータ191～194に通電することにより、局所的に温度を上昇させる。そして、この温度を制御することにより、所望の波長での反射量を増加させることができ、同波長でのレーザ発振を実現させる。先に述べたように、本実施形態の構成であれば、C帯全域又はL帯全域($1.56\text{ }\mu\text{ m} \sim 1.59\text{ }\mu\text{ m}$)に渡り反射ピーク波長を膜状ヒータ191～194への通電によりシフトさせ、これにより広範囲な波長範囲で波長可変動作を行うことができる。
- [0040] 図4は、本発明に係る波長可変レーザの第2実施形態を示す平面図である。以下、この図面に基づき説明する。ただし、図1と同一部分は同一符号を付すことにより説明を省略する。
- [0041] 本実施形態の波長可変レーザ20は、LD側導波路13の一端131及び反射側導波路14の一端141に、それらの延長された端面133, 143を所定の方向に向かせる湾曲部134, 144が形成されたものである。これにより、端面133, 143から出射される迷光を影響の少ない方へ導くことができる。
- [0042] なお、図4では、迷光抑制部として湾曲部134, 144を用いたが、これに限られるものではない。LD側導波路の一端の延長された端面又は前記反射側導波路の一端

の延長された端面から出射される迷光による影響を抑制するものであれば、いずれの迷光抑制部を用いててもよい。

- [0043] 図5は、本発明に係る波長可変レーザの第3実施形態を示す平面図である。以下、この図面に基づき説明する。ただし、図1と同一部分は同一符号を付すことにより説明を省略する。
- [0044] 本実施形態の波長可変レーザ30は、LD側導波路13の一端131の延長された端面133に、受光素子31が設けられている。この受光素子31により、LDチップ17から出射されるレーザ光L2の強度をモニタすることができる。受光素子31は、例えばフォトダイオードであり、パッシブアライメント技術によってLDチップ17とともにPLC基板15上に直接実装される。なお、受光素子31は、反射側導波路142の一端141の延長された端面143に設けてもよい。
- [0045] 図6は、本発明に係る波長可変レーザの第4実施形態を示す平面図である。以下、この図面に基づき説明する。ただし、図1及び図5と同一部分は同一符号を付すことにより説明を省略する。
- [0046] 本実施形態の波長可変レーザ40は、LD側導波路13の一端131の延長された端面133に設けられた受光素子31と、受光素子31と二重リング共振器11との間のLD側導波路13中に挿入され一定範囲の波長の光のみを通過させる非対称マッハーツエンダ干渉計41と、受光素子31で検出された光強度が一定になるように膜状ヒータ191～194への通電を制御する制御手段42と、を更に備えている。
- [0047] 非対称マッハーツエンダ干渉計41は、短い導波路411と長い導波路412とが方向性結合器413, 414によって並列に接続された構造を有し、導波路411, 412間の光路長差に基づく干渉を利用したフィルタとして機能する。また、非対称マッハーツエンダ干渉計41は、他の導波路と同時にPLC基板15に形成することができる。制御手段42は、例えばDSP等のマイクロコンピュータ、AD変換器、DA変換器及び増幅器等からなる、一般的なものである。
- [0048] 非対称マッハーツエンダ干渉計41及び受光素子31は、一定範囲の波長の光を通過させて、2重リング共振器11の共振波長を検出する波長検出手段として機能する。なお、非対称マッハーツエンダ干渉計41及び受光素子31は、反射側導波路14に設け

てもよい。

- [0049] 本実施形態において、制御手段42は、波長検出手段(31, 41)が検出した共振波長情報に基づいて、2重リング共振器11の共振をフィードバック制御する。
- [0050] 図7は、本発明に係る波長可変レーザの第5実施形態を示す平面図である。以下、この図面に基づき説明する。ただし、図1及び図6と同一部分は同一符号を付すことにより説明を省略する。
- [0051] 本実施形態の波長可変レーザ50は、二重リング共振器11と高反射膜16との間の反射側導波路14中に、非対称マッハツエンダ干渉計41が挿入されている。非対称マッハツエンダ干渉計41は、一定範囲の波長の光のみを通過させるフィルタとして機能する。このフィルタ機能により、2重リング共振器11からのうち、一定範囲内の波長のみの光が非対称マッハツエンダ干渉計41を通過する。その光の波長は2重リング共振器11の共振波長に相当する。非対称マッハツエンダ干渉計は、リング共振器間など光の往復する箇所のいずれに挿入されてもよい。
- [0052] 図8は、本発明に係る波長可変レーザの第6実施形態を示す平面図である。以下、この図面に基づき説明する。ただし、図1と同一部分は同一符号を付すことにより説明を省略する。
- [0053] 本実施形態の波長可変レーザ60は、互いに異なる光路長を有するリング状導波路からなるリング共振器111, 112, 113が方向性結合器122, 123を介して連結されてなる三重リング共振器61と、リング共振器111に方向性結合器121を介して一端131が接続されたLD側導波路13と、リング共振器113に方向性結合器124を介して一端141が接続された反射側導波路14と、リング共振器111, 112, 113、LD側導波路13及び反射側導波路14が形成された一つのPLC基板15と、反射側導波路14の他端142に設けられた高反射膜16と、PLC基板15上に設けられるとともに、対向する二つの発光端面171, 172の一方(発光端面171)に低反射膜18が形成され、低反射膜18にLD側導波路13の他端132が接続されたLDチップ17と、リング共振器111, 112, 113の温度特性を利用して三重リング共振器61の共振波長を変化させる膜状ヒータ191～196とを備えたものである。なお導波路としては、石英ガラスなどを用いることができる。

- [0054] 本実施形態では、多重リング共振器が三重リング共振器61となっている。三重リング共振器61は、三個のリング共振器111, 112, 113の共振波長の全てが一致した波長で共振する。すなわち、三個のリング共振器111, 112, 113の温度を制御することができるので、三重リング共振器61の共振波長を変える方法が多様になる。
- [0055] 図9は、本発明に係る波長可変レーザの第7実施形態を示す平面図である。以下、この図面に基づき説明する。ただし、図1と同一部分は同一符号を付すことにより説明を省略する。
- [0056] 本実施形態の波長可変レーザ70は、互いに異なる光路長を有するリング状導波路からなるリング共振器111, 112が方向性結合器122a, 122b及び直線導波路122cを介して連結されてなる二重リング共振器11と、リング共振器111に方向性結合器121を介して一端131が接続されたLD側導波路13と、リング共振器112に方向性結合器123を介して一端141が接続された反射側導波路14と、リング共振器111, 112、LD側導波路13及び反射側導波路14が形成された一つのPLC基板15と、反射側導波路14の他端142に設けられた高反射膜16と、PLC基板15上に設けられるとともに、対向する二つの発光端面171, 172の一方(発光端面171)に低反射膜18が形成され、低反射膜18にLD側導波路13の他端132が接続されたLDチップ17と、リング共振器111, 112の温度特性を利用して二重リング共振器11の共振波長を変化させる膜状ヒータ191～194とを備えたものである。なお導波路としては、石英ガラスなどを用いることができる。
- [0057] 本実施形態では、リング共振器111, 112を連結する光学的結合手段として、方向性結合器に代えて直線導波路122cを用いている。要は、複数のリング共振器11, 12を連結する光学的結合手段としては、方向性結合器、或いは導波路のいずれを用いてもよい。
- [0058] 図10は、本発明に係る波長可変レーザの第8実施形態を示す平面図である。図11は、本発明に係る波長可変レーザの第9実施形態を示す平面図である。以下、この図面に基づき説明する。ただし、図1及び図9と同一部分は同一符号を付すことにより説明を省略する。
- [0059] 以上説明した図1、図4～図9に示す実施形態では、LDチップ17を基板15上に実

装した場合について説明したが、これに限られるものではない。図10及び図11に示すように、LDチップ17を基板から切り離して設けてもよいものである。

- [0060] 図10に示す実施形態は、LDチップ17を基板15から切り離して設けている。そして、LDチップ17の低反射膜18とLD側導波路13とを突き合わせて光結合している。LDチップ17の低反射膜18とLD側導波路13との間隔は、 $30 \mu m$ 以下で精密に実装される。なお、LDチップ17の低反射膜18とLD側導波路13とを密着させて光結合してもよい。
- [0061] 図10に示す実施形態によれば、LDチップ17が他の基板などに実装されている場合などに有効である。さらに、LDチップ17の低反射膜18とLD側導波路13とを突き合わせて光結合しているため、その間の寸法を短くすることができる。
- [0062] 図11に示す実施形態は、図10の実施形態のようにLDチップ17を基板15から切り離して設けている。そして、LDチップ17の低反射膜18とLD側導波路13とをレンズなどの光結合手段80を介して光結合している。この光結合手段80により、LDチップ17の低反射膜18とLD側導波路13との光スポットサイズの整合が可能となる。
- [0063] 図11に示す実施形態によれば、図10の実施形態と同様にLDチップ17が他の基板などに実装されている場合などに有効であるばかりでなく、LDチップ17の低反射膜18とLD側導波路13との光結合部での光結合損失を大きく低減することができる。
- [0064] 以上の説明では、各実施形態を独立して説明したが、これらの実施形態の構成を適宜組み合わせができるものである。

図面の簡単な説明

- [0065] [図1]本発明に係る波長可変レーザの第1実施形態を示す平面図である。
[図2]図1の波長可変レーザの波長可変動作を示し、図2[1]は直径の小さい方のリング共振器の反射スペクトルを示すグラフ、図2[2]は直径の大きい方のリング共振器の反射スペクトルを示すグラフ、図2[3]は二重リング共振器の反射スペクトルを示すグラフである。
[図3]図1の波長可変レーザにおける二重リング共振器の反射スペクトルのグラフを示し、図3[1]は二つのリング共振器間の位相差 $\phi = 0.44\pi$ の場合であり、図3[2]は二つのリング共振器間の位相差 $\phi = 1.76\pi$ の場合である。

[図4]本発明に係る波長可変レーザの第2実施形態を示す平面図である。

[図5]本発明に係る波長可変レーザの第3実施形態を示す平面図である。

[図6]本発明に係る波長可変レーザの第4実施形態を示す平面図である。

[図7]本発明に係る波長可変レーザの第5実施形態を示す平面図である。

[図8]本発明に係る波長可変レーザの第6実施形態を示す平面図である。

[図9]本発明に係る波長可変レーザの第7実施形態を示す平面図である。

[図10]本発明に係る波長可変レーザの第8実施形態を示す平面図である。

[図11]本発明に係る波長可変レーザの第9実施形態を示す平面図である。

符号の説明

- [0066] 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 波長可変レーザ
111, 112, 113 リング共振器
121, 122, 122a, 122b, 123, 124 方向性結合器(光学的結合手段)
11 二重リング共振器
13 LD側導波路
131 LD側導波路の一端
132 LD側導波路の他端
14 反射側導波路
141 反射側導波路の一端
142 反射側導波路の他端
15 PLC基板(基板)
16 高反射膜
17 LDチップ
171, 172 発光端面
18 低反射膜
191, 192, 193, 194, 195, 196 膜状ヒータ
31 受光素子
41 非対称マッハツェンダ干渉計
42 制御手段

61 三重リング共振器

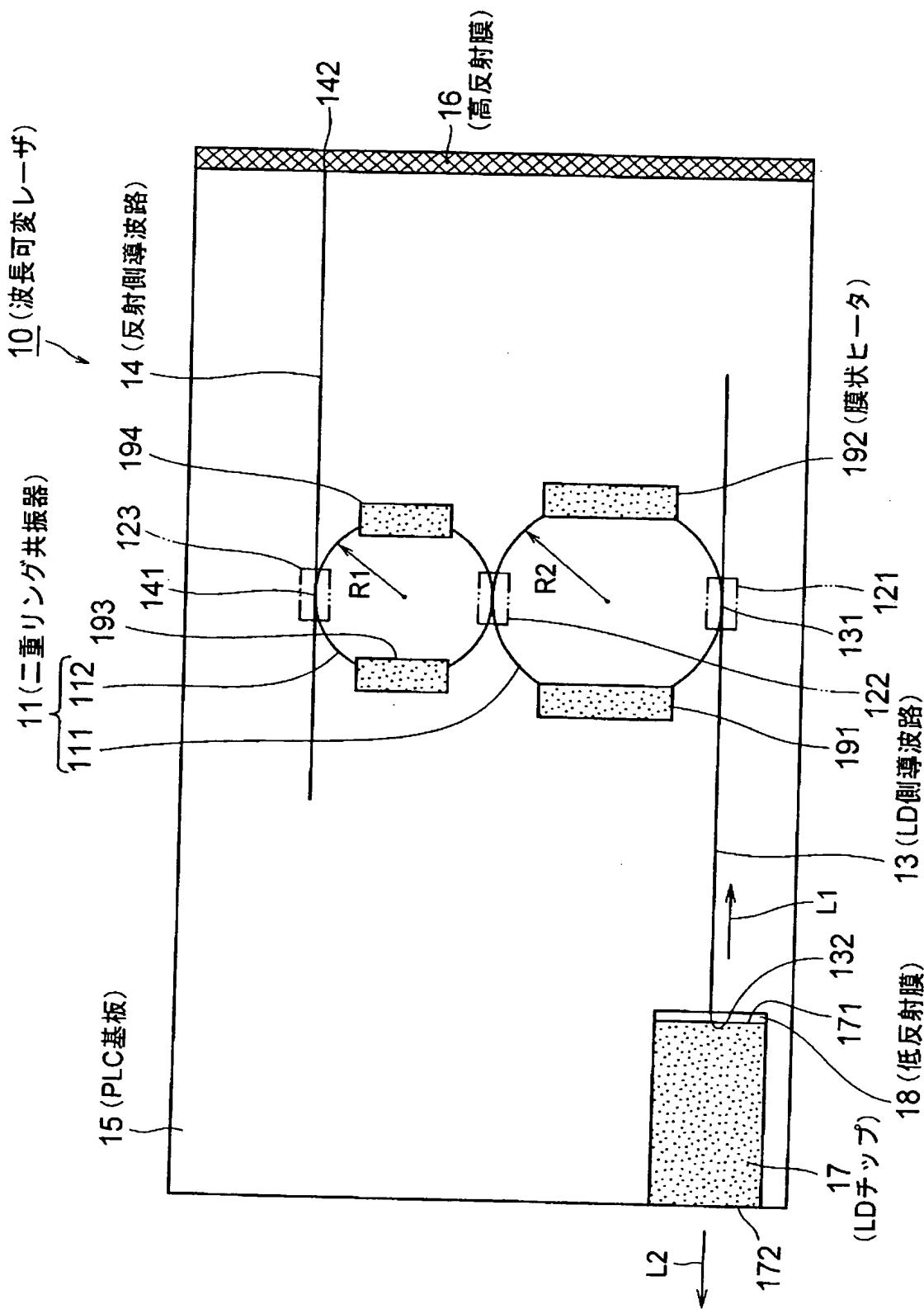
80 レンズ(光結合手段)

請求の範囲

- [1] 互いに異なる光路長を有するリング状導波路からなる複数のリング共振器を光学的結合手段により連結した多重リング共振器と、
前記複数のリング共振器の一つに光学的結合手段により一端が接続されたLD側導波路と、
前記複数のリング共振器の他一つに光学的結合手段により一端が接続された反射側導波路と、
前記リング共振器、前記LD側導波路及び前記反射側導波路が形成された一つの基板と、
前記反射側導波路の他端に設けられた反射膜と、
対向する二つの発光端面の一方に低反射膜が形成され、当該低反射膜を介して前記LD側導波路に光結合されたレーザダイオードチップと、
前記多重リング共振器の共振波長を変化させる波長可変手段とを有することを特徴とする波長可変レーザ。
- [2] 前記多重リング共振器は、少なくとも2以上の前記リング共振器を含むことを特徴とする請求項1に記載の波長可変レーザ。
- [3] 前記レーザダイオードチップの低反射膜と前記前記LD側導波路とが突き合わされて光結合していることを特徴とする請求項1に記載の波長可変レーザ。
- [4] 前記レーザダイオードチップの低反射膜と前記前記LD側導波路とが光学手段により光結合していることを特徴とする請求項1に記載の波長可変レーザ。
- [5] 前記光学手段として、レンズを用いた請求項4に記載の波長可変レーザ。
- [6] 前記複数のリング共振器は、周期的に現れる反射ピークの間隔が異なるように前記リング状導波路の直径が設定され、反射ピークの一致点で共振を引き起こすことを特徴とする請求項1に記載の波長可変レーザ。
- [7] 前記光学的結合手段として、方向性結合器を用いた請求項1に記載の波長可変レーザ。
- [8] 前記波長可変手段は、前記リング共振器のリング状導波路の屈折率を変化させて、共振波長を変化させることを特徴とする請求項1に記載の波長可変レーザ。

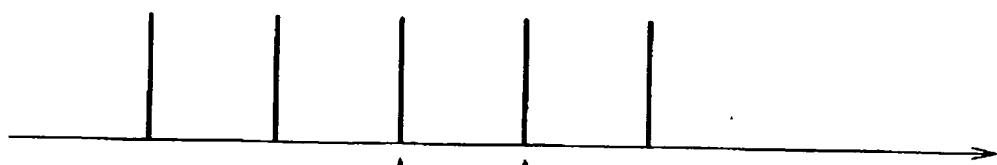
- [9] 前記波長可変手段は、前記リング状導波路の温度特性を利用して前記リング状導波路の屈折率を変化させるものであることを特徴とする請求項7に記載の波長可変レーザ。
- [10] 前記多重リング共振器の共振波長を検出する波長検出手段を更に備えたことを特徴とする請求項1に記載の波長可変レーザ。
- [11] 前記波長検出手段は、一定範囲の波長のみの光を通過または遮蔽させて、前記波長を検出することを特徴とする請求項9に記載の波長可変レーザ。
- [12] 前記波長検出手段で検出された共振波長情報に基づいて前記多重リング共振器の共振をフィードバック制御する制御手段を備えたことを特徴とする請求項10に記載の波長可変レーザ。
- [13] 前記LD側導波路の一端の延長された端面又は前記反射側導波路の一端の延長された端面から出射される迷光による影響を抑制する迷光抑制部を設けたことを特徴とする請求項1に記載の波長可変レーザ。
- [14] 前記多重リング共振器と前記レーザダイオードチップとの間の前記LD側導波路中、前記多重リング共振器と前記高反射膜との間の前記反射側導波路中又はリング共振器間のうち少なくとも1箇所に、一定範囲の波長の光のみを通過させるフィルタを挿入したことを特徴とする請求項1に記載の波長可変レーザ。
- [15] 前記LD側導波路の一端の延長された端面又は前記反射側導波路の一端の延長された端面に受光素子を設けたことを特徴とする請求項1に記載の波長可変レーザ。
- [16] 前記レーザダイオードチップは、前記基板上にパッシブアライメント技術によって実装されたことを特徴とする請求項1に記載の波長可変レーザ。
- [17] 前記受光素子は、前記基板上にパッシブアライメント技術によって実装されたことを特徴とする請求項15に記載の波長可変レーザ。

[図1]

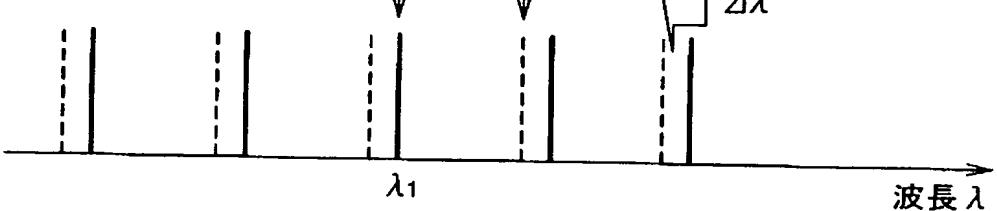


[図2]

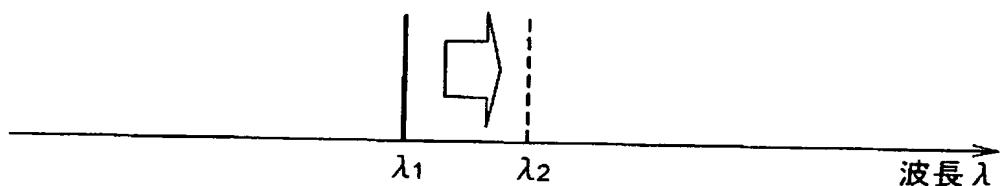
[1]



[2]

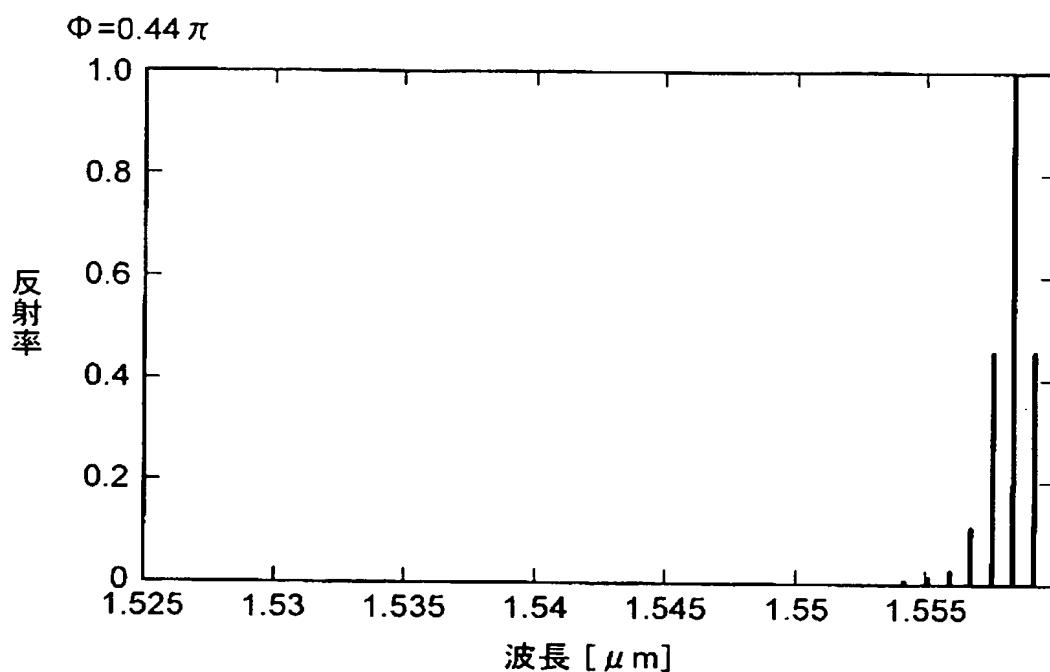


[3]

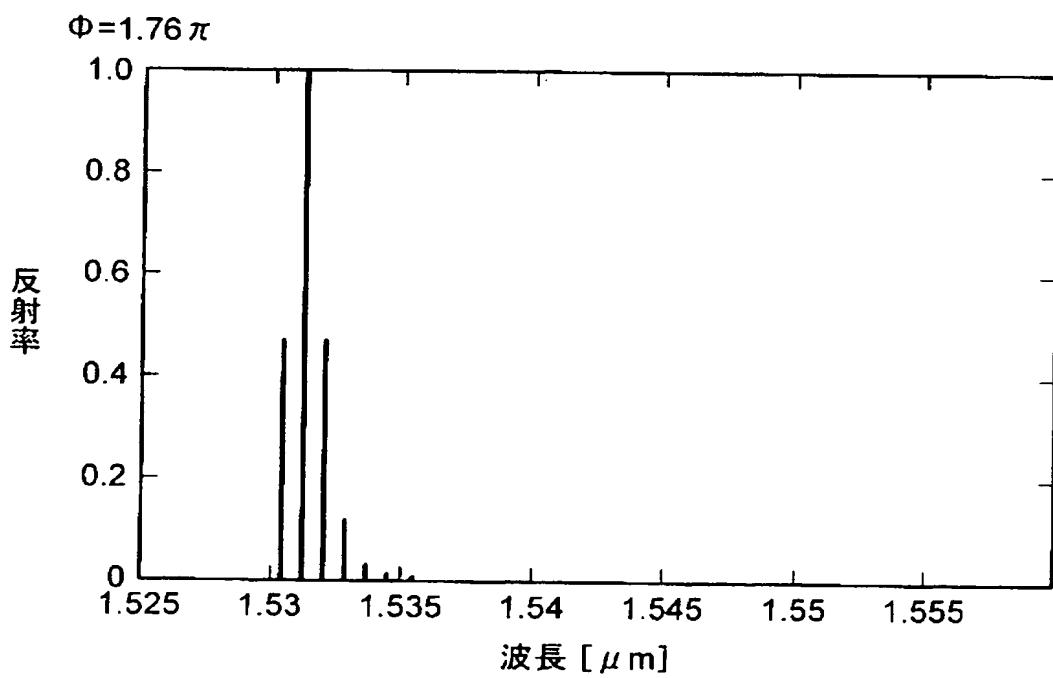


[図3]

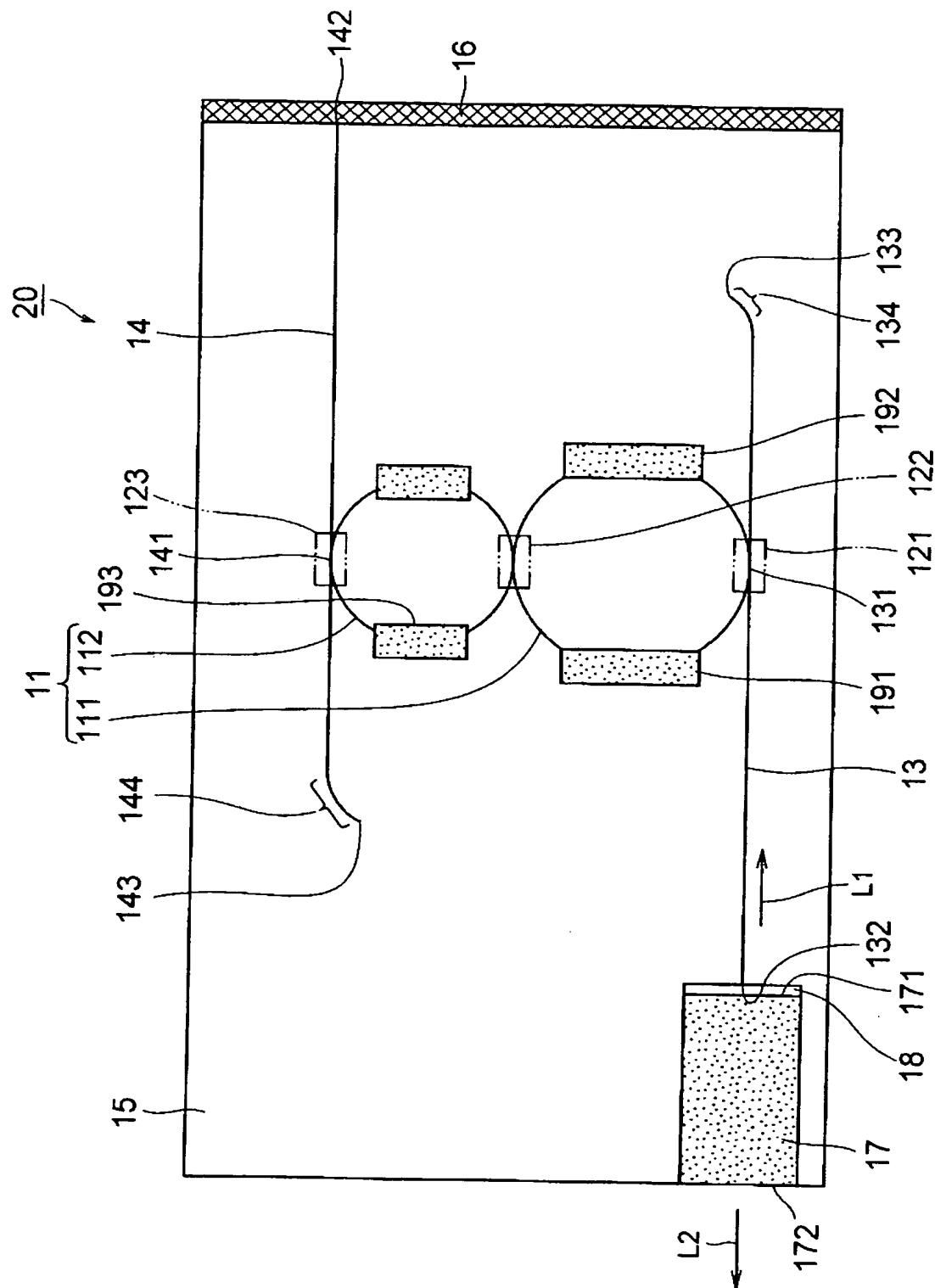
〔1〕



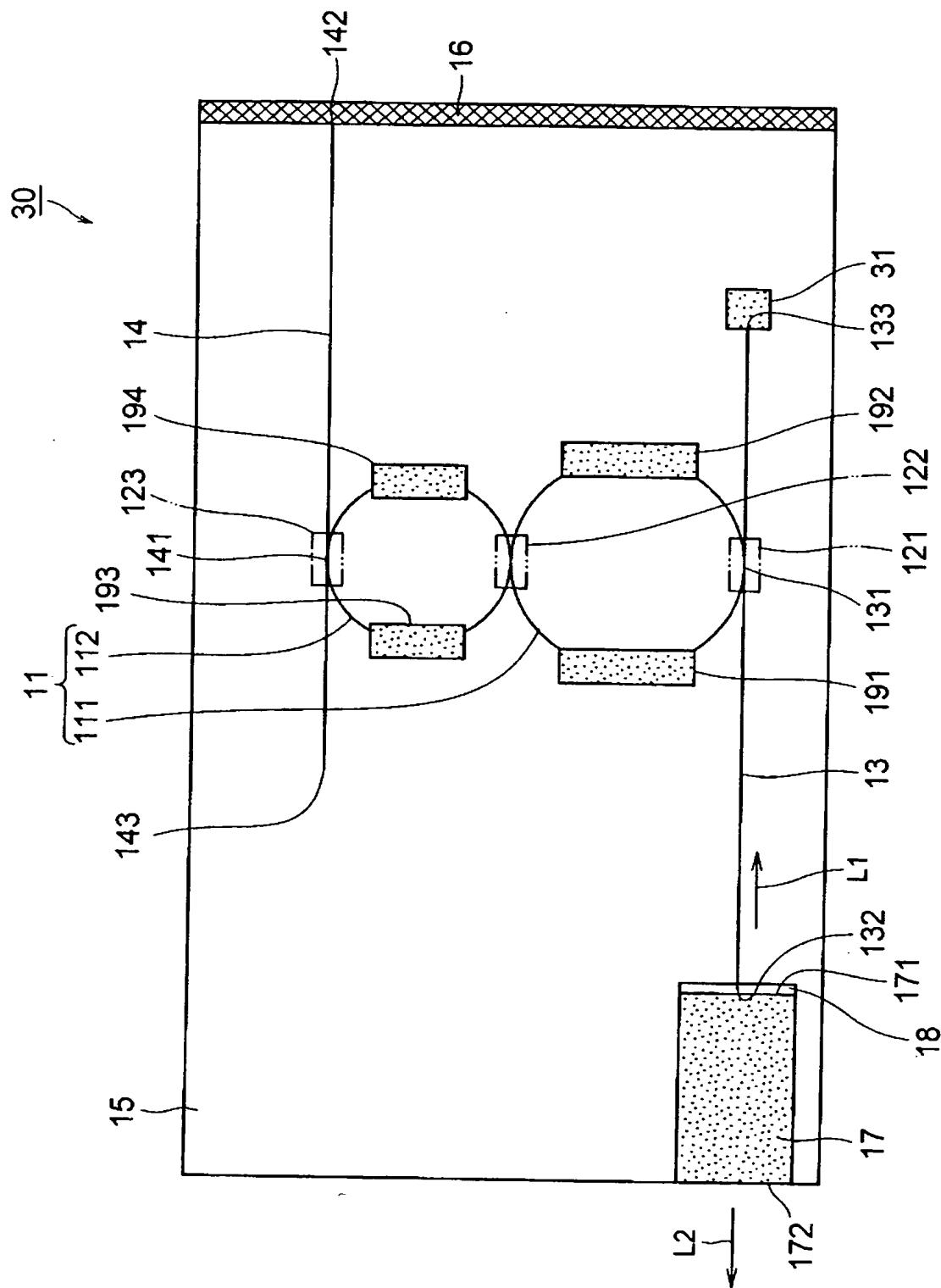
〔2〕



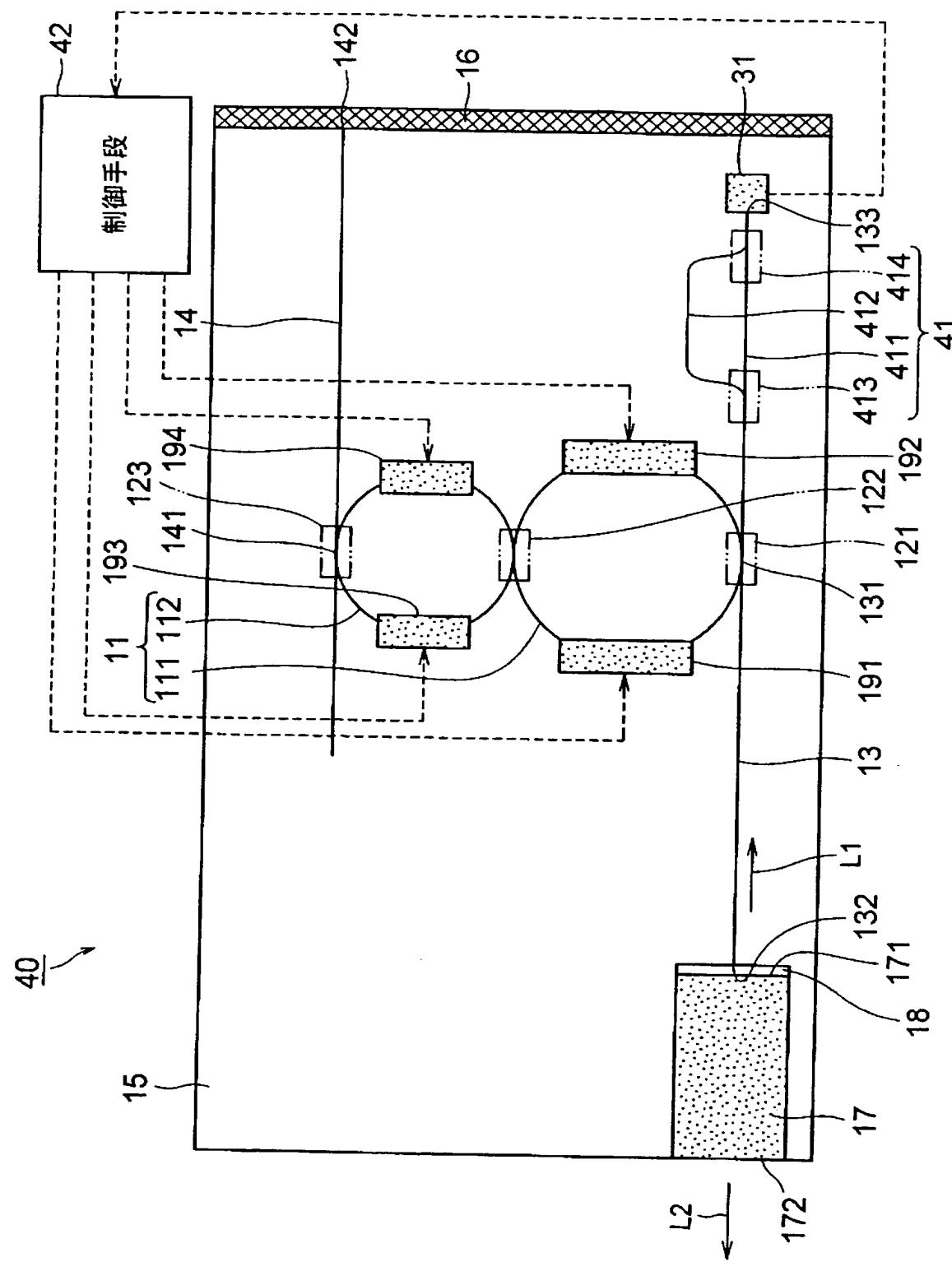
[図4]



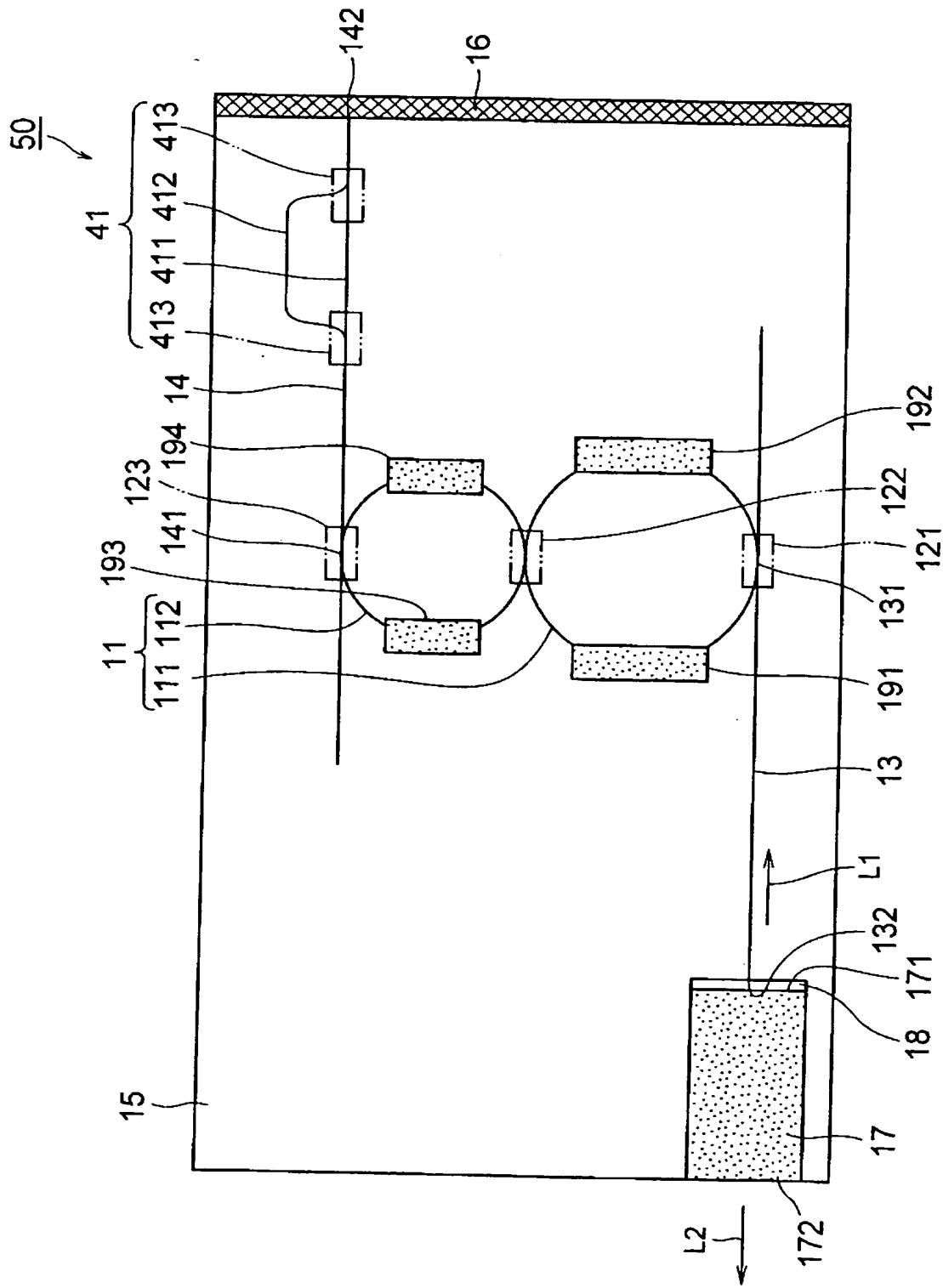
[図5]



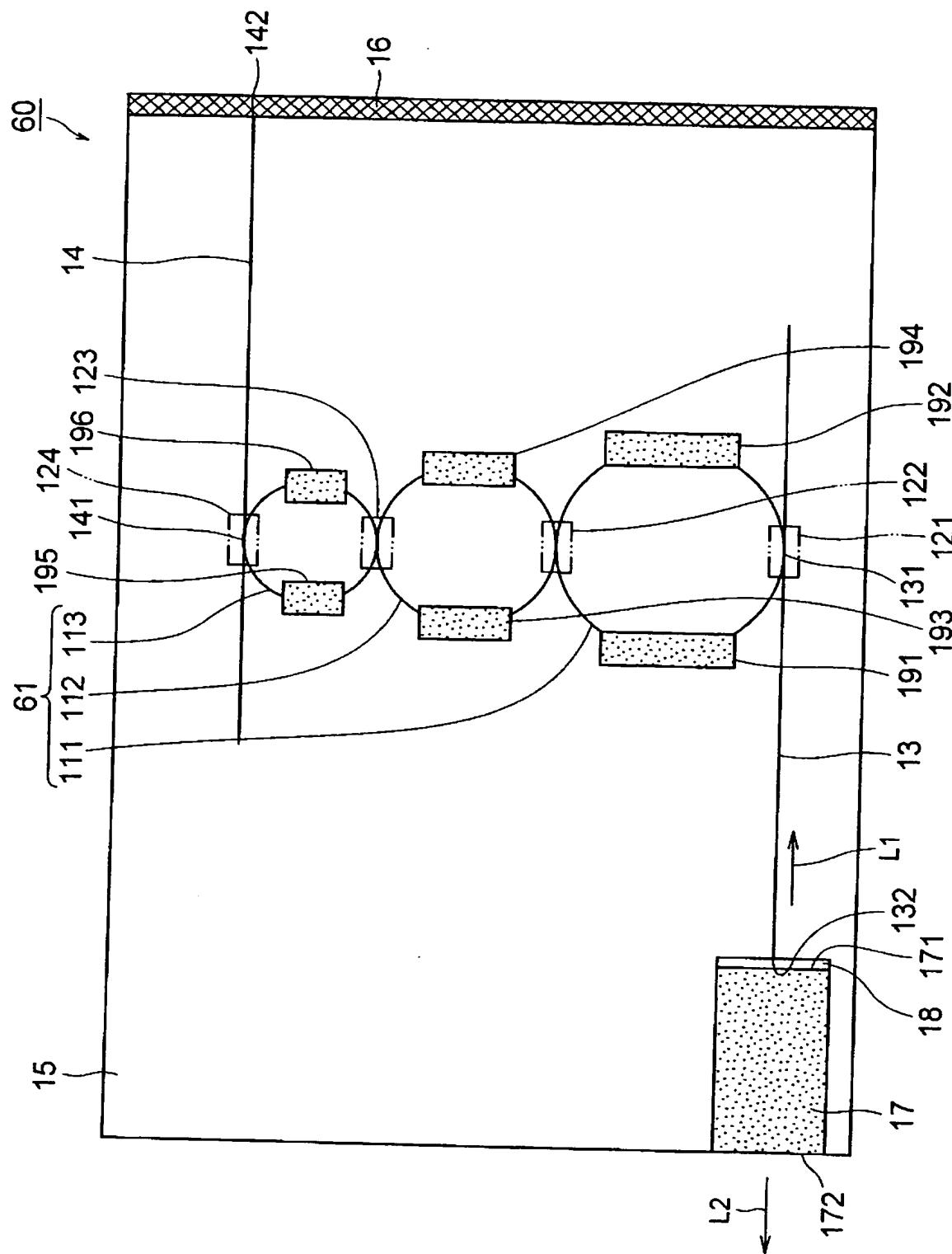
[図6]



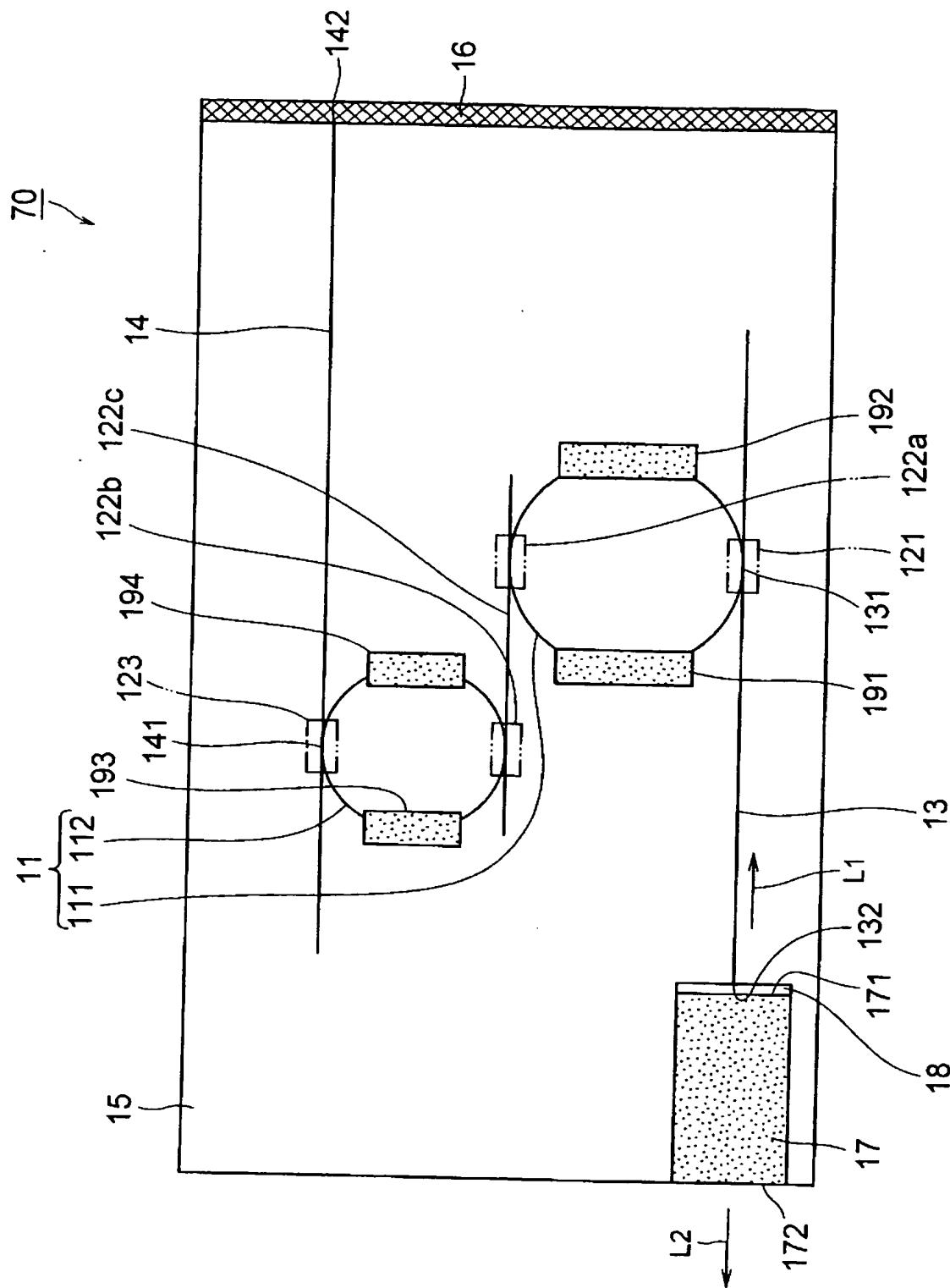
[図7]



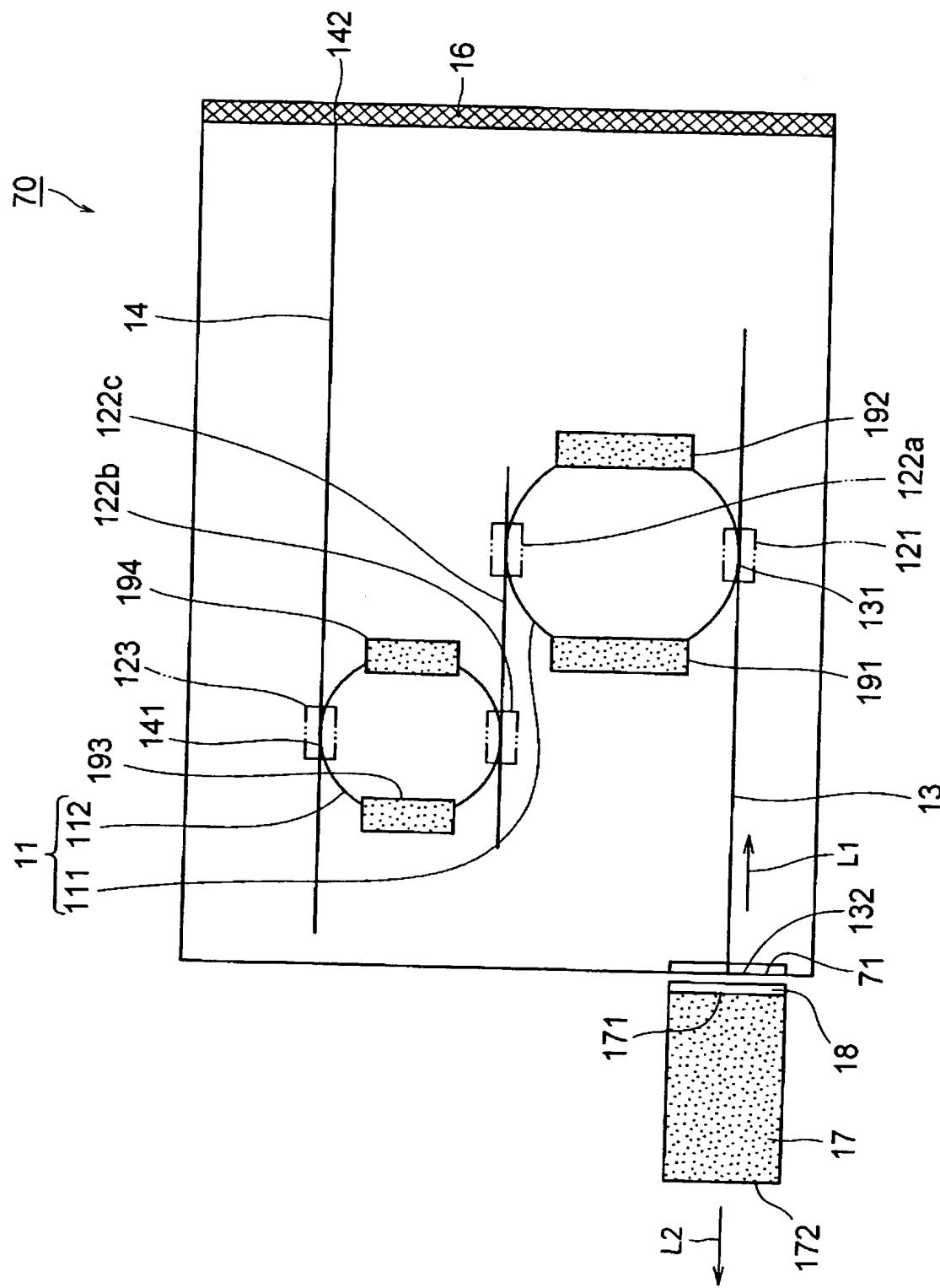
[図8]



[図9]



[図10]



[図11]

